

*Цвіркун Л. О., канд. пед. наук¹**Омельченко О. В., канд. техн. наук¹**Цвіркун С. Л., канд. техн. наук²**Чумак А. К., здобувач ОС бакалавра¹*

¹Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: cvirkun@donnuet.edu.ua.

²Криворізький національний університет (м. Кривий Ріг, Україна), e-mail: tserg30@ukr.net.

ВИБІР КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЗАСОБІВ УДОСКОНАЛЕННЯ І ВИМІРЮВАННЯ ДЛЯ ПРИСТРОЮ СОРТУВАННЯ ПЛОДОВООВОЧЕВОЇ СИРОВИНИ

UDC 635-1/-2(045)

*Tsvirkun L. A., PhD in Pedagogical sciences¹**Omelchenko O. V., PhD in Engineering sciences¹**Tsvirkun S. L., PhD in Engineering sciences²**Chumak A. K., a graduate of a bachelor's degree¹*

¹ Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: cvirkun@donnuet.edu.ua.

² Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: tserg30@ukr.net.

SELECTION OF CONSTRUCTION MATERIALS AND IMPROVEMENTS AND MEASUREMENTS FOR THE DEVICE SORTING FRUIT AND VEGETABLE RAW MATERIALS

Мета. Метою статті є вибір конструкційних матеріалів та засобів удосконалення і вимірювання для пристрою сортування плодовоовочевої сировини.

Методи. У роботі для удосконалення пристрою сортування плодовоовочевої сировини застосовано математичні методи та методи нечіткої логіки.

Результати. Зазначено, що матеріали для контакту з виробом повинні відповідати низці вимог, а саме: бути інертними до виробу в умовах експлуатації, включаючи зміни температури та тиску, бути стійкими до корозії, нетоксичними, механічно стійкими, гладкими, легкими в очищенні, а умови не впливали на поверхню використання. Вважається, що з-поміж основних операцій переробної та харчової промисловості є очищення, сортування, сушіння, подрібнення, термічна обробка продуктів. При контакті обладнання із зернами, фруктами, овочами вагому роль відіграють фізичні, механічні, фрикційні, аеро- і гідродинамічні, електричні та оптичні властивості матеріалів. Констатовано, що найчастіше у процесі проектування та виготовлення обладнання харчової промисловості застосовується нержавіюча сталь через корозійну стійкість й довговічність матеріалу.

Проведено комплексне дослідження, яке включає аналіз фізичних властивостей фруктів та овочів (розмір, форма, вага, колір, щільність), урахування властивостей матеріалів, застосування сучасних технічних засобів у конструкції обладнання для сортування плодово-овочевої сировини, що забезпечує ефективне та якісне сортування із можливістю розпізнавання різновидів плодовоовочевої сировини. Розглянуто узагальнену структуру системи візуального контролю потоку яблук на конвеєрній стрічці із застосуванням відеокамери. Інтерпретовано результати дослідження, а саме розрахункова відстань між об'єктивом встановленої відеокамери до поверхні плодово-овочевої сировини на конвеєрній стрічці — 3000 мм, загальний розмір контрольованої ділянки потоку яблук на конвеєрі становить 1112,03 × 843,25 мм, розмір ділянки, що відповідає одному пікселю зображення, становить 1,07 × 0,82 мм. Розмір

Надійшла до редакції 15.09.2021 р.

© Л. О. Цвіркун, О. В. Омельченко,
С. Л. Цвіркун, А. К. Чумак, 2021

точки контрольованого ділянки є в даному випадку достатнім. Разом з тим, розмір ділянки яблунового потоку доцільно збільшити за рахунок розташування відеокамери таким чином, щоб її оптична вісь розташовувалася під гострим кутом до площини конвеєрної стрічки. Зазначене розташування відеокамери дозволяє збільшити розмір контрольованої ділянки потоку яблук до (1400–1800 мм) × 1700 мм.

Ключові слова: конструкційні матеріали, технічні засоби, пристрій для сортування, відеокамера, плодовоовочева сировина, нержавіюча сталь.

Постановка проблеми. Конструкційні матеріали відіграють важливу роль у процесі проектування та експлуатації обладнання, що використовується у сфері харчової промисловості. Так, у Законі України «Про вимоги до предметів та матеріалів, що контактують з харчовими продуктами» зазначено про необхідність дотримання вимог при контакті матеріалів з продуктами харчування, а саме не допускати перенесення їх складових на харчові продукти, з якими вони контактують, що може загрожувати здоров'ю людини або спричинити погіршення стану продуктів харчування [1]. Відповідно, матеріали для контакту з виробом повинні відповідати низці вимог, а саме: бути інертними до виробу в умовах експлуатації, включаючи зміни температури та тиску, бути стійкий до корозії, нетоксичними, механічно стійкими, гладкими, легкими в очищенні, а умови не впливали на поверхню використання.

3-поміж, основних операцій переробної та харчової промисловості є очищення, сортування, сушіння, подрібнення, термічна обробка продуктів. При контакті обладнання із зернами, фруктами, овочами вагому роль відіграють фізичні, механічні, фрикційні, аеро- і гідродинамічні, електричні та оптичні властивості матеріалів [2]. Тому удосконалення обладнання для сортування та калібрування плодовоовочевої сировини потребує комплексного дослідження, яке включає аналіз фізичних властивостей сировини (розмір, форма, вага, колір, щільність) так і урахування властивостей конструкційних матеріалів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Обладнання харчової промисловості не повинно мати недоліки в конструкції та монтажу задля уникнення щілин та зазорів в стиках. Проте такі дефекти трапляються в машинах для виготовлення арахісового масла, соковималках. Залишки продуктів осідають, що сприяє розвитку мікроорганізмів, які згодом можуть розмножитися та забруднювати обладнання [3]. Якщо поверхня покрита металевим сплавом або неметалевим (наприклад, кераміка, пластик, гума) кінцева поверхня повинна бути корозійно стійкою та не мати на поверхні розшарувань, відколювань, утворення пухирів [6]. На практиці вибір металів доступний для виготовлення обладнання в харчовій промисловості дуже обмежений.

Найчастіше у процесі проектування та виготовлення обладнання харчової промисловості застосовується нержавіюча сталь через корозійну стійкість й довговічність матеріалу. Проте, подібно будь-якій іншій групі матеріалів, важливо вибрати оптимальний тип сталі з урахуванням можливості застосування дезінфікуючих та миючих засобів. Залежно від передбачуваних умов експлуатації нержавіюча сталь для харчової промисловості виготовляється з наступних марок: AISI 304, AISI 304L, AISI 321, 08X18H10, 08X18H10T, 12X18H10T.

Нержавіюча сталь отримує свою корозійну стійкість з тонкого, міцного шару, який утворюється на поверхні металу. Цей пасивний шар складається із суміші заліза, хрому та іноді оксидів молібдену. Він формується миттєво у повітрі або кисневій воді. Хімічна пасивація є важливою обробкою поверхні, яка можна покращити стійкість до корозії нержавіючої сталі, що використовується для виробу контактної поверхні [7, 10].

Конструкційні матеріали відіграють важливу роль у процесі проектування та експлуатації обладнання, що використовується в сфері харчової промисловості. Їх властивості різняться з точки зору сумісності, технологічності та надійності. Багато матеріалів для харчового обладнання включають полімерні матеріали, еластomers, особливо для ущільнень, прокладок та стиків; мастильні матеріали, які не повинні контактувати з харчовими продуктами; теплоізоляційні матеріали тощо.

Обладнання переробної та харчової промисловості виготовляється із дотриманням відповідних технологій та застосування регламентованих матеріалів, що забезпечує реалізацію передбачуваних умов експлуатації. Так, під час сортування зерна форма і розмір зерна визначаються формою і розміром екранних отворів, кутом нахилу, амплітудою вібрації. Щільність зерна визначає розмір просіювальної поверхні, а форма виробу є важливим параметром, який впливає на транспортувальні характеристики та матеріали. Пристрій для сортування зерна наведено на рис. 1.

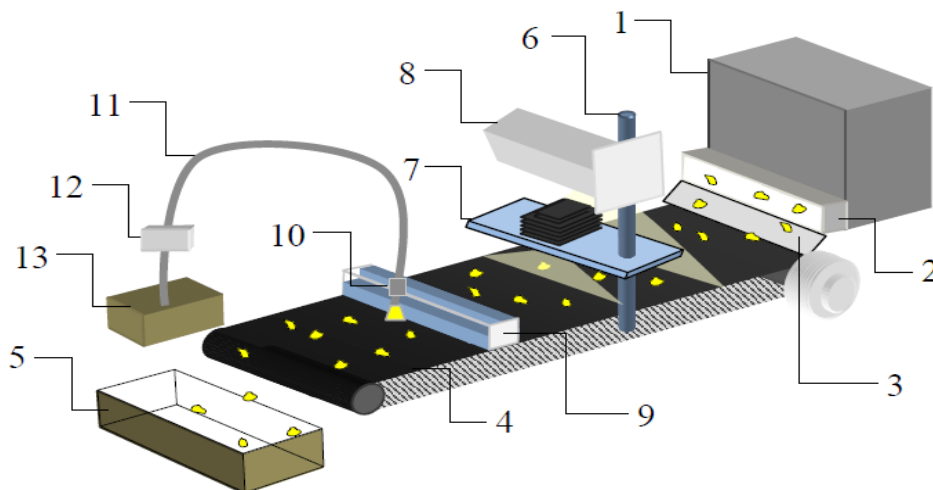


Рисунок 1 — Пристрій для сортування зерна: 1 — завантажувальний бункер; 2 — дозуючий пристрій; 3 — похилий лоток; 4 — транспортна стрічка чорного кольору; 5 — лоток скидання; 6 — штатив; 7–8 — цифрові камери; 9 — каретка; 10 — усмоктувальна головка; 11 — гнучкий шланг; 12 — вакуумний електроклапан; 13 — накопичувач.

Різні види сортувальних і сепараційних пристроїв проектуються на основі фізичних властивостей продукту, таких як розмір, питома вага, шорсткість поверхні, колір [4, 5]. Пристрій для сортування ягід представлено на рис. 2. Він призначений для сортування ягід діаметром 10–20 мм (чорниця, черешня, журавлина, малина, полуниця, оливки).

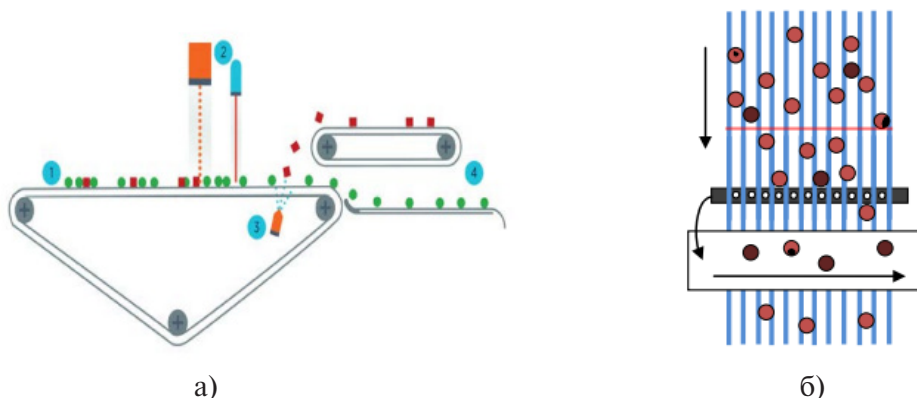


Рисунок 2 — Пристрій для сортування ягід: а) вид збоку (1 — стрічка транспортера; 2 — камера і лазер; 3 — пневмоклапани; 4 — прийнятий і відбракований матеріал), б) вид зверху

Відповідно, комплексне дослідження, яке включає аналіз фізичних властивостей фруктів та овочів (розмір, форма, вага, колір, щільність), урахування властивостей матеріалів, застосування сучасних технічних засобів у конструкції обладнання для сортування плодовоовочевої сировини забезпечить ефективне та якісне сортування із можливістю розпізнавання різновидів плодовоовочевої сировини.

Мета статті — вибір конструкційних матеріалів та засобів удосконалення і вимірювання для пристрою сортування плодовоовочевої сировини.

Виклад основного матеріалу дослідження. Узагальнена структура системи візуального контролю потоку яблук на конвеєрній стрічці із застосуванням технічних засобів (відеокамера) наведена на рис. 3.

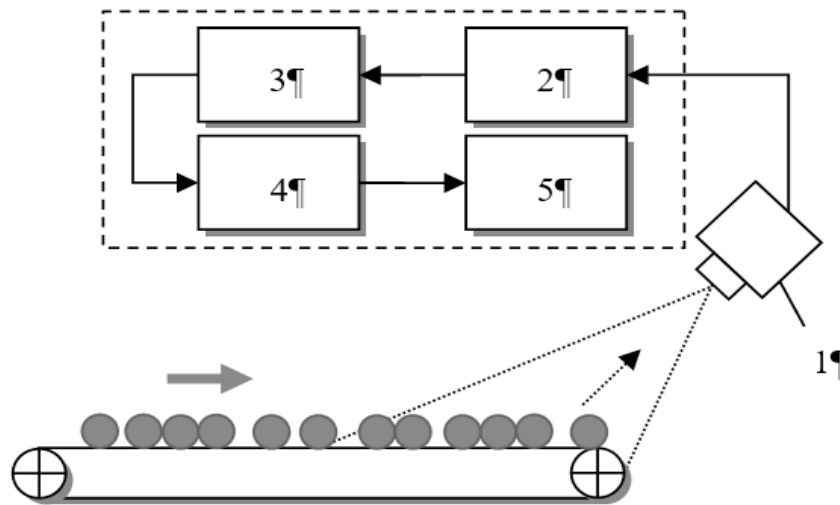


Рисунок 3 — Схема системи автоматичного супроводу яблук на конвеєрній лінії: відеокамера — 1, система перетворення відео в послідовність фотографічних зображень — 2, система поліпшення якості зображень — 3, система розпізнавання різновидів по зображеннях — 4, вихідний інтерфейс системи — 5.

Основним елементом системи візуального контролю характеристик плодовоовочевої сировини на конвеєрній лінії є промислова відеокамера, призначена для перетворення оптичного зображення, одержуваного за допомогою об'єктива на світлочутливій матриці в цифровий потік відеоданих. Типова схема цифрової відеокамери представлена на рис. 4.

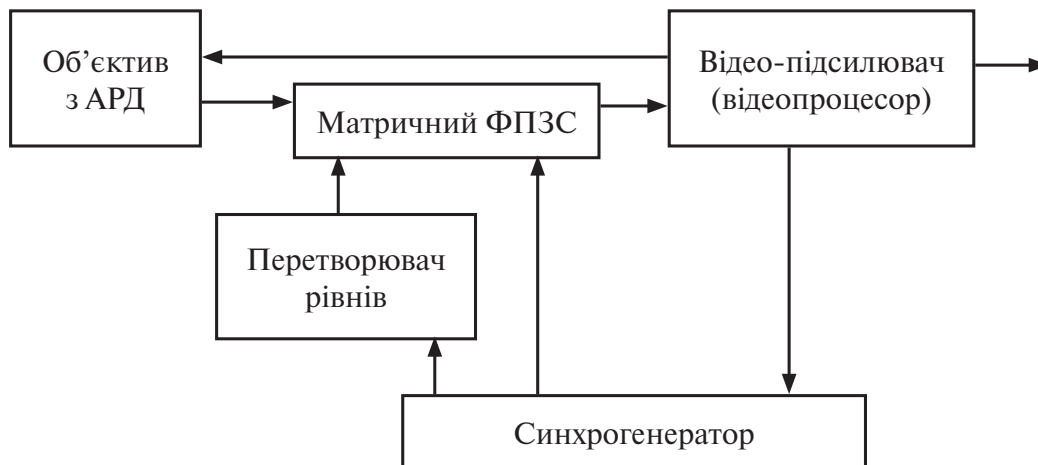


Рисунок 4 — Блок-схема цифрової ФПЗС-відеокамери

Синхрогенератор здійснює управління роботою матричного фотоприймача, здійснюючи всі необхідні для роботи ФПЗС сигнали у вигляді послідовності імпульсів. При цьому частина сигналів з рівнями напруги 0 і 5 В подаються безпосередньо на ФПЗС. Для отримання інших рівнів напруги певні вихідні лінії синхрогенератора підключають до спеціального перетворювача рівнів. Відеопроцесор здійснює посилення і перетворення вихідного аналогового відеосигналу з ФПЗС в стандартну передачі, а також виконує функції управління автоматичного регулювання чутливості.

Важливим параметром для реалізації системи відеосупроводу яблук є чутливість, яка визначається двома параметрами — вольтової чутливості, тобто крутизною світло-сигнальної характеристики фотоприймача і порогової чутливості — величиною мінімального реєстрованого світлового потоку. Середнім значенням квантового виходу для ФПЗС є

величина 0,5–0,6 в діапазоні видимих довжин хвиль [8]. Вольтова чутливість крім квантової ефективності визначається площею фоточутливого елемента.

Слід зазначити, що чим менше кут поля зору, тим більше може бути відстань до об'єкта вимірювання при збереженні якості зображення рудного потоку. Миттєве поле зору відеокамери, кут поля зору, який припадає на один піксель, зазвичай вимірюється в мілірадіанах. Миттєве поле зору обчислюють по кожній осі як частка від ділення кута поля зору по осі на кількість пікселів матриці по даній осі, отримане значення переводять в мілірадіани.

При установці відеокамери на відстані 3000×мм до поверхні плодовоовочевої сировини на конвеєрній стрічці, геометричні розміри контрольованої ділянки яблук визначалися за формулами

$$L_x = 2D \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{FOV_x}{2}\right) = 2 \cdot 3000 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{21^\circ}{2}\right) = 1112,03 \text{ мм}, \quad (1)$$

$$L_y = 2D \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{FOV_y}{2}\right) = 2 \cdot 3000 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{16^\circ}{2}\right) = 843,35 \text{ мм}, \quad (2)$$

де D — відстань до поверхні яблук на конвеєрі; L_x, L_y — розмір контрольованої ділянки поверхні яблук на конвеєрі за координатами X і Y відповідно.

Геометричні розміри миттєвого поля зору відеокамери залежать від значень кута миттєвого поля зору, які визначаються за формулами: для першої модифікації

$$IFOV_x = \frac{IFOV_x}{N_x} = \frac{21^\circ}{1024} = 0,0205^\circ \quad (3)$$

$$IFOV_y = \frac{IFOV_y}{N_y} = \frac{16^\circ}{1024} = 0,0156^\circ \quad (4)$$

де $IFOV_x, IFOV_y$ — миттєве поле зору по осях X і Y відповідно; FOV_x, FOV_y — поле зору по осях X і Y відповідно; N_x, N_y — кількість пікселів матриці по осях X і Y відповідно.

На основі отриманих значень миттєвого поля зору геометричні розміри миттєвого поля зору були розраховані за формулами

$$l_x = 2D \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{IFOV_x}{2}\right) = 2 \cdot 3000 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{0,0205^\circ}{2}\right) = 1,07 \text{ мм}, \quad (5)$$

$$l_y = 2D \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{IFOV_y}{2}\right) = 2 \cdot 3000 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{0,0156^\circ}{2}\right) = 0,82 \text{ мм}, \quad (6)$$

де L_x, L_y — розміри ділянки, контролюється в межах миттєвого поля зору по координатам X і Y відповідно; D — відстань до поверхні яблук на конвеєрі.

Отже, розрахункова відстань між об'єктивом встановленої відеокамери до поверхні плодовоовочевої сировини на конвеєрній стрічці — 3000 мм, загальний розмір контрольованої ділянки потоку яблук на конвеєрі становить $1112,03 \times 843,25$ мм, розмір ділянки, що відповідає одному пікселю зображення, становить $1,07 \times 0,82$ мм. Розмір точки контрольованої ділянки є в даному випадку достатнім. Разом з тим, розмір ділянки яблуневого потоку доцільно збільшити за рахунок розташування відеокамери таким чином, щоб її оптична вісь розташовувалася під гострим кутом до площини конвеєрної стрічки. Зазначене розташування відеокамери дозволяє збільшити розмір контрольованої ділянки потоку яблук до $(1400\text{—}1800 \text{ мм}) \times 1700 \text{ мм}$.

Висновки. Отже, матеріали для контакту з виробом повинні відповідати низці вимог, а саме: бути інертними до виробу в умовах експлуатації, включаючи зміни температури та тиску, бути стійкий до корозії, нетоксичними, механічно стійкими, гладкими, легкими в очищенні, а умови не впливали на поверхню використання. Зазначено, що з-поміж, основних операцій переробної та харчової промисловості є очищення, сортування, сушіння, подрібнення, термічна обробка продуктів. При контакті

обладнання із зернами, фруктами, овочами вагому роль відіграють фізичні, механічні, фрикційні, аеро- і гідродинамічні, електричні та оптичні властивості матеріалів. Констатовано, що найчастіше у процесі проектування та виготовлення обладнання харчової промисловості застосовується нержавіюча сталь через корозійну стійкість й довговічність матеріалу.

Проведено комплексне дослідження, яке включає аналіз фізичних властивостей фруктів та овочів (розмір, форма, вага, колір, щільність), урахування властивостей матеріалів, застосування сучасних технічних засобів у конструкції обладнання для сортування плодовоовочевої сировини, що забезпечує ефективне та якісне сортування із можливістю розпізнавання різновидів плодовоовочевої сировини. Розглянуто узагальнену структуру системи візуального контролю потоку яблук на конвеєрній стрічці із застосуванням відеокамери. Інтерпретовано результати дослідження.

Список літератури

1. Закон України «Про вимоги до предметів та матеріалів, що контактують з харчовими продуктами». URL : http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/NT1668.html.
2. Krishnakumar, T. Engineering properties of agricultural materials. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/330533752_Engineering_Properties_of_Agricultural_Materials.
3. Kirabira, J., Ssembatya, M., Ayo, A. Materials selection and fabrication practices for food processing equipment manufacturers. *International journal of scientific & technology research*. 2017. Vol. 6. P. 632–641.
4. Павленко Н. А. Исследование и разработка оптико-электронной системы для сепарации минерального сырья по цвету : дис. ... канд. тех. наук : 05.11.07. Санкт-Петербург, 2016. 150 с.
5. Hiwa Golpira, Hemin Golpira. Improvement of an apple sorting machine using PSNR criterion. *Advanced mechatronic systems*. 2012. Vol. 2. P. 729–732.
6. Sanitary design and construction of food equipment. Retrieved from <https://ucfoodsafety.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk7366/files/inline-files/26502.pdf>.
7. Lewan, M. Food processing equipment construction materials. Nickel Institute, UK : Materials engineering research laboratory, 2014. 155 p.
8. Березин В. В., Умбиталиев А. А., Фахми Ш. С. Твердотельная революция в телевидении: телевизионные параметры на основе приборов с зарядовой связью, систем на кристалле и видеосистем на кристалле. М. : Радио и связь, 2006. 98 с.
9. Нестерук Д. А. Тепловой контроль и диагностика. Томск : Изд. ТПУ, 2007. 104 с.
10. Хільчевський В. В., Кондратюк С. Є., Степаненко В. О. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. К. : Либідь, 2002. 328 с.

References

1. Verkhovna Rada of Ukraine (2015). *Zakon Ukrayiny Pro vymohy do predmetiv ta materialiv, shcho kontaktuyut z kharchovymy produktamy* [On the requirements for items and materials in contact with food]. Retrieved from http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/NT1668.html.
2. Krishnakumar, T. Engineering properties of agricultural materials. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/330533752_Engineering_Properties_of_Agricultural_Materials.
3. Kirabira, J., Ssembatya, M., Ayo, A. Materials selection and fabrication practices for food processing equipment manufacturers. *International journal of scientific & technology research*. 2017. Vol. 6. P. 632–641.
4. Pavlenko, N. A. (2016). *Research and development of an optoelectronic system for the separation of mineral raw materials by color* [Research and development of an optoelectronic system for the separation of mineral raw materials by color. Thesis of PhD in Engineering sciences]. St. Petersburg, 150 p.

5. Hiwa Golpira, Hemin Golpira (2012). *Usovershenstvovaniye mashiny dlya sortirovki yablok po kriteriyu PSNR* [Improvement of an apple sorting machine using PSNR criterion]. *Prodvinutyye mekhatronnyye sistemy* [Advanced mechatronic systems]. Vol. 2, pp. 729–732.
6. Sanitary design and construction of food equipment. Retrieved from <https://ucfoodsafety.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk7366/files/inline-files/26502.pdf>.
7. Lewan, M. Food processing equipment construction materials. Nickel Institute, UK : Materials engineering research laboratory, 2014. 155 p.
8. Berezin, V. V., Umbitaliyev, A. A., Fakhmi, Sh. S. (2006). *Tverdotel'naya revolyutsiya v televidenii: televizionnyye parametry na osnove priborov s zaryadovoy svyaz'yu, sistem na kristalle i videosistem na kristalle* [The solid state revolution in television: television parameters based on ccd, system-on-chip, and video-on-chip]. Moscow, 98 p.
9. Nesteruk, D. A. (2007). *Teplovoy kontrol' i diagnostika* [Thermal control and diagnostics]. Tomsk, 104 p.
10. Khilchevsky, V. V., Kondratyuk, S. Y., Stepanenko, V. O. (2002). *Materialoznavstvo i tekhnologiya konstruktsiynykh materialiv* [Materials science and technology of construction materials]. Kiev, Lybid Publ., 328 p.

Objective. The purpose of the article is the choice of construction materials and means of improvement and measurement for the device of sorting of fruit and vegetable raw materials.

Methods. Mathematical methods and methods of fuzzy logic are used in the work on improving the device for sorting fruit and vegetable raw materials.

Results. It is noted that the materials for contact with the product must meet a number of requirements, namely: be inert to the product in operating conditions, including changes in temperature and pressure, be corrosion resistant, non-toxic, mechanically stable, smooth, easy to clean, and the conditions are not affected on the surface of use. It is believed that the main operations of the processing and food industries are cleaning, sorting, drying, grinding, heat treatment of products. Physical, mechanical, frictional, aero- and hydrodynamic, electrical and optical properties of materials play an important role in the contact of equipment with grains, fruits and vegetables. It is stated that most often in the process of designing and manufacturing equipment for the food industry, stainless steel is used due to corrosion resistance and durability of the material.

A comprehensive study was conducted, including analysis of physical properties of fruits and vegetables (size, shape, weight, color, density), accounting for properties, application of modern technical means in the design of equipment for sorting fruit and vegetable raw materials, which provides efficient and high-quality sorting fruit and vegetable raw materials. The generalized structure of the system of visual control of the flow of apples on the conveyor belt with the use of a video camera is considered. The results of the study were interpreted, namely the calculated distance between the lens of the installed video camera to the surface of fruit and vegetable raw materials on the conveyor belt — 3000 mm, the total size of the controlled section of apple flow on the conveyor is $1112,03 \times 843,25$ mm, the area corresponding to one pixel, is $1,07 \times 0,82$ mm. The size of the point of the controlled area is sufficient in this case. At the same time, it is expedient to increase the size of the section of the apple stream due to the location of the video camera so that its optical axis is located at an acute angle to the plane of the conveyor belt. The specified location of the video camera allows you to increase the size of the controlled area of the flow of apples $(1400–1800 \text{ mm}) \times 1700 \text{ mm}$.

Key words: construction materials, hardware, sorting device, video camera, fruit and raw materials, stainless steel.